

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 3 (49), 2010: 48–62
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 3 (49), 2010)
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 3 (49), 2010: 48–62
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 3 (49), 2010)

Anna GÓRECKA, Eugeniusz KODA

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Analiza możliwości ograniczenia zagrożeń środowiska wodno-gruntowego, wynikających z eksploatacji modernizowanego składowiska odpadów komunalnych **Analysis of possibilities to reduce the risks of groundwater pollution resulting from operating of the modernized sanitary landfill**

Słowa kluczowe: składowisko, rekultywacja, monitoring wód, gospodarka odpadami
Key words: sanitary landfill, remedial works, water monitoring, waste management

Wprowadzenie

Od kilkunastu lat w Polsce prowadzone są działania w kierunku poprawy stanu gospodarki odpadowej – wydane liczne akty prawne, zarówno wspólnotowe, jak i krajowe, dążą co prawda do zmiany istniejącego stanu, lecz jednak dawne zaniedbania i ciągła nieświadomość społeczeństwa sprawiają, że entuzjastyczne plany są praktycznie nierealne do zrealizowania w zakładanym czasie. Obecnie nadal prawie 90% krajowych odpadów komunalnych trafia bezpośrednio na składowiska, tymczasem zobowiązania prawne wobec Unii Europejskiej nakła-

dają na Polskę obowiązek zmniejszenia liczby użytkowanych składowisk i ograniczenia deponowanej masy odpadów komunalnych. Zrealizowanie zaleceń unijnych jest trudne, między innymi ze względu na brak dokładnej ewidencji liczby i stanu istniejących składowisk – niektóre oficjalne dokumenty wskazują na 770–1000 składowisk (Terek 2009). Ponadto statystyki nie uwzględniają wielu obiektów, które również funkcjonują, ale nie posiadają kompletnej, zalegalizowanej dokumentacji i są określane terminem „dzikie składowiska”.

Rygorystyczne wymogi ochrony środowiska naturalnego powodują, że na większości nieprzystosowanych składowisk odpadów komunalnych muszą zostać przeprowadzone zabiegi modernizacyjne i rekultywacyjne, mające na celu ograniczenie w możliwie największym

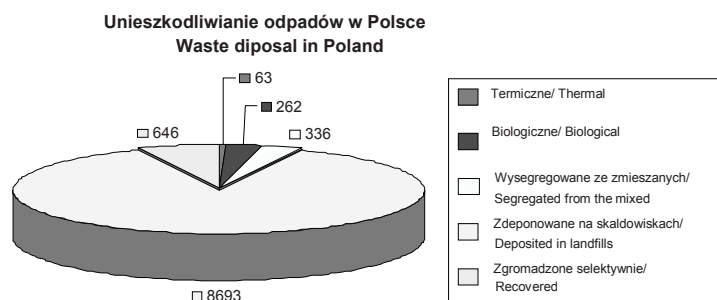
stopniu ich negatywnego oddziaływania na środowisko. Przykładem obiektu, na którym niezbędne jest przeprowadzenie tego typu prac, jest regionalne składowisko odpadów komunalnych Słabomierz-Krzyżówka, położone w województwie mazowieckim. Perspektywa jego funkcjonowania przez kilka następnych lat jest uzależniona od stopnia realizacji działań naprawczych. W artykule podjęto analizę niezbędnych zabiegów, które należy przeprowadzić na składowisku, i przedstawiono propozycję weryfikacji zakresu monitoringu lokalnego wód w celu oceny skuteczności proponowanych zabiegów modernizacyjnych i kontroli jakości wód na terenach przyległych.

Gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce

Gospodarka odpadami komunalnymi w Polsce jest zaniedbana i wymaga podjęcia wielu działań, by dorównać rozwiniętym krajom Unii Europejskiej i sprostać standardom ochrony środowiska. W kraju z roku na rok powstaje coraz więcej odpadów komunalnych, w 2008 roku wytworzono ich 12,194 mln Mg, praktycznie bez znaczącego

odzysku surowców wtórnych, z czego składowanych było około 9 mln Mg (Infrastruktura komunalna... 2009). Z danych statystycznych wynika, że Polacy produkują około 329 kg odpadów komunalnych na osobę i wskaźnik ten wrasta w tempie około 1% rocznie.

Podstawowym sposobem postępowania z odpadami komunalnymi nadal jest ich deponowanie na składowiskach. Mimo że każdego roku obserwuje się zmniejszenie ogólnego udziału odpadów komunalnych składowanych i według danych GUS w 2008 roku w porównaniu z rokiem poprzednim ich masa zmniejszyła się o 3,6%, to jednak nadal przeważająca większość odpadów trafia na składowiska. W Polsce pod koniec 2008 roku funkcjonowało około 1000 czynnych kontrolowanych składowisk, przyjmujących odpady komunalne, zajmujących łączną powierzchnię około 3000 ha (Infrastruktura komunalna... 2009). Przez składowanie unieszkodliwiono około 87% zebranych odpadów, unieszkodliwieniu termicznemu w spalarni poddano jedynie 0,6%, biologicznemu w kompostowniach niecałe 3%, natomiast odpady wysegregowane jako surowce wtórne stanowiły niecałe 10% (rys. 1).



RYSUNEK 1. Odpady komunalne unieszkodliwione w Polsce w 2008 roku [tys. Mg] (Infrastruktura komunalna... 2009)

FIGURE 1. Municipal wastes utilized in Poland in 2008 [the thousands Mg]

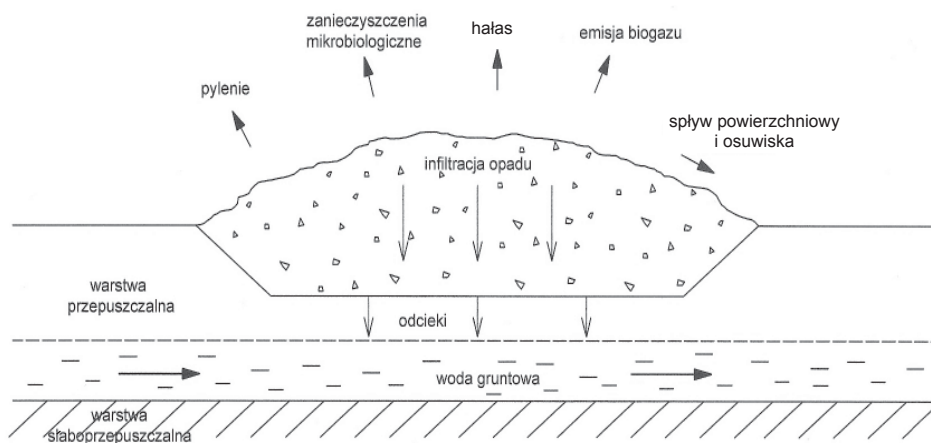
Zagrożenia powodowane przez składowiska

Funkcjonowanie składowisk odpadów komunalnych przyczynia się do powstawania wielu niebezpiecznych emisji (rys. 2), które stanowią poważne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego i środowiska naturalnego (Stare składowiska 1997). Rodzaj oraz intensywność uciążliwości zależą w znacznym stopniu od czynników wewnętrznych związanych z budową składowiska, właściwościami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi odpadów, technologii składowania oraz czynników zewnętrznych związanych z otoczeniem, między innymi z topografią terenu, warunkami mikroklimatu oraz charakterem bariery ochronnej (Michałkiewicz 2009).

Negatywne oddziaływanie składowiska przejawia się w postaci emisji różnych zanieczyszczeń do poszczególnych komponentów środowiska naturalnego. Na przykład zanieczyszczenia wód charakteryzują się dużymi wahaniami i ekstremalnie dużymi wartościami mak-

symalnymi, znacznie większymi niż w przypadku ścieków komunalnych. Główne uciążliwości, wynikające z funkcjonowania składowiska, to:

- zanieczyszczenie środowiska wodno-gruntowego: mętność, barwa i zapach, BZT₅ (100–5000 mg O₂·dm⁻³), ChZT_{Cr} (500–6000 mg O₂·dm⁻³), chlorki (100–15000 mg·dm⁻³), sól (1000–2000 mg Na·dm⁻³), siarczany (50–3000 mg SO₄·dm⁻³), azotany (0–50 mg NO₃·dm⁻³), oleje mineralne (1–15 mg·dm⁻³),
- zanieczyszczenie powietrza: biogaz, w tym gazy cieplarniane (metan do 60% i dwutlenek węgla do 40%), zapylenie oraz skażenie mikrobiologiczne, zanieczyszczenia mikroelementami (Cd, Pb, Cu, Hg, Sn, Zn, Cr i inne),
- hałas eksploatacyjny i związany z transportem odpadów na składowisko,
- rozwiewanie lekkich odpadów po okolicy i zeszpecenie krajobrazu.



RYSUNEK 2. Schemat oddziaływania nieuszczelnionego składowiska na środowisko (Koda 2009)
FIGURE 2. The scheme of the impact of leaky landfill on the environment

Składowisko Ślabomierz-Krzyżówka

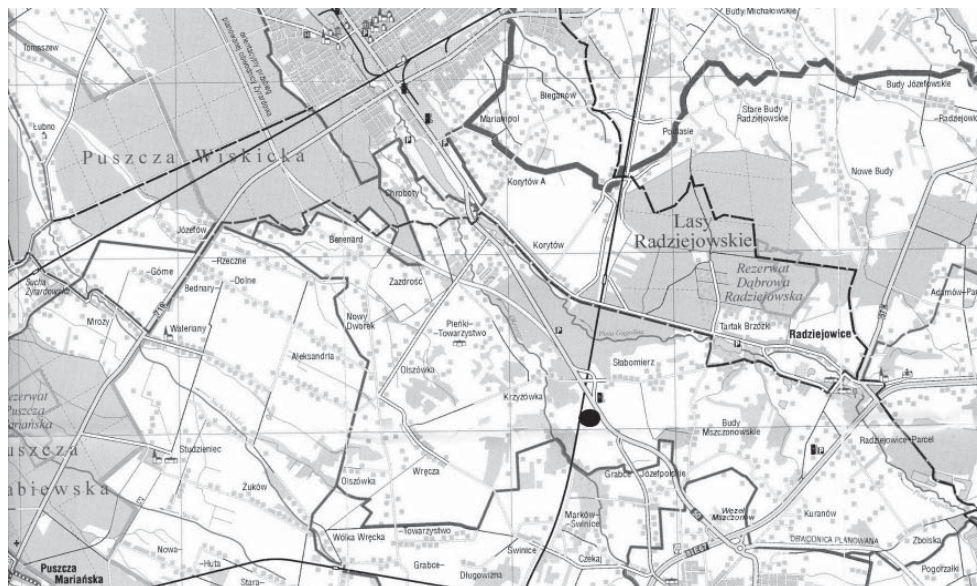
Składowisko Ślabomierz-Krzyżówka położone jest na terenie gminy Radziejowice w powiecie żyrardowskim. W pobliżu miejsca jego lokalizacji przebiegają ważne szlaki komunikacyjne zarówno kolejowe, jak i drogowe: Centralna Magistrala Kolejowa (CMK), linia kolejowa Skierniewice – Łuków oraz drogi krajowe nr 8 i nr 50 (rys. 3). Obszary znajdujące się na zachód i północ od obiektu zajmują niewielkie lasy, pozostała część terenu to głównie nieużytki. Tylko nieznaczna część terenów w otoczeniu jest użytkowana rolniczo.

W planie składowisko przypomina kształt trójkąta, jego zachodnie ramię stanowi trasa CMK – nasyp z torami i linią trakcyjną, rów odciekowy oraz droga techniczna z płyt betonowych. Północ-

no-wschodni bok tworzy droga krajowa nr 50, która biegnie na nasypie i przekracza linię kolejową wiaduktem, natomiast południowa granica przebiega po drodze gruntowej w pobliżu rzeki Okrzezy.

Eksplorację obiektu rozpoczęto w 1970 roku w wyrobisku powstałym po wydobyciu piasku i żwiru na potrzeby budowy CMK. W latach 1970–1992 deponowano na nim odpady komunalne i przemysłowe, a od 1992 roku składowane są tam niesegregowane odpady komunalne. Obecnie obiekt przyjmuje odpady w ilości około 40 000 m³ rocznie. W granicach obecnego zagospodarowania obiekt z zapleczem technicznym zajmuje powierzchnię 14,21 ha, przy czym odpady składowane są na powierzchni 8,7 ha.

Składowisko posiada naturalne zabezpieczenie środowiska w postaci podłoża gliniasto-ilastego, o miąższości



● składowisko odpadów Ślabomierz-Krzyżówka

RYSUNEK 3. Lokalizacja składowiska odpadów Ślabomierz-Krzyżówka

FIGURE 3. Location of Ślabomierz-Krzyżówka sanitary landfill

14–15 m, z przewarstwieniami piasku. Pierwsza warstwa wodonośna znajduje się na głębokości około 1,3 m pod składowanymi odpadami. Deponowane odpady układane są do projektowanej rzędnej składowania – 170 m n.p.m., skarpy obiektu zaś były kształtowane z pochylem 1 : 2 i 1 : 1,5. Obecna eksploatacja przyczynia się do powstawania wielu uciążliwości środowiskowych – niekontrolowanej emisji zanieczyszczeń dostających się do wód gruntowych, wyczuwalnego skażenia powietrza oraz zeszpecenia pobliskiego krajobrazu, w związku z czym konieczne jest podjęcie działań modernizacyjnych.

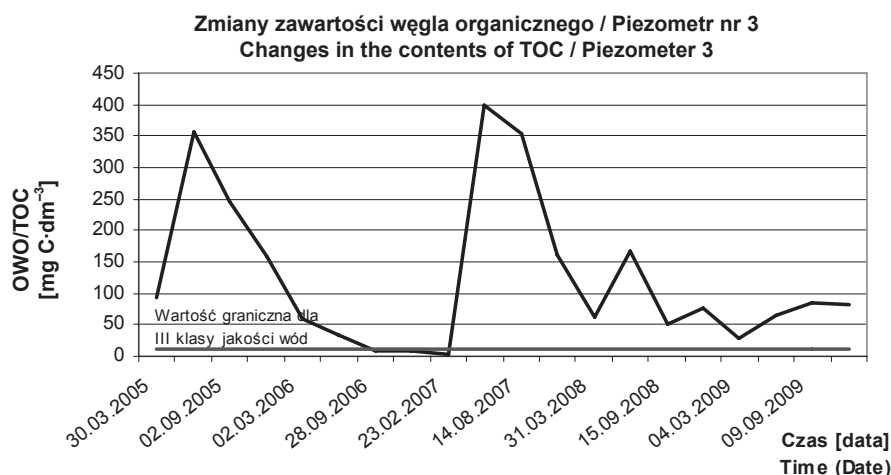
Zasadniczy problem na składowisku stanowi pierwszy poziom wodonośny, który ze względu na niewielką miąższość jest bardzo podatny na zanieczyszczenia i od dłuższego czasu występujące w nim wody wykazują przekroczenia wskaźników fizykochemicznych (rys. 4 i 5). Na podwyższonym poziomie stale utrzymują się wartości ogólnego węgla

organicznego (OWO), amoniaku (NH_4) i przewodności elektrolitycznej właściwej, zwłaszcza dla wód ujmowanych w piezometrze nr 3.

Zabiegi ograniczające negatywne oddziaływanie składowiska na środowisko

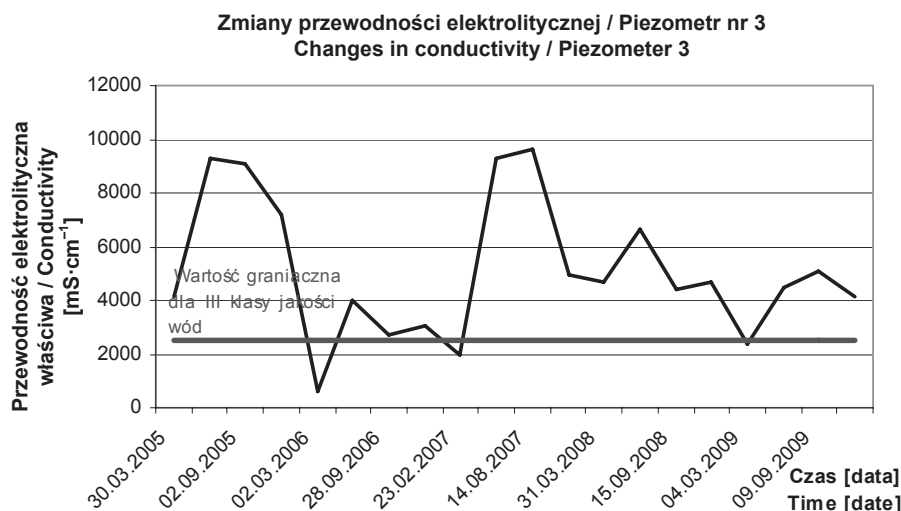
Bariera przeciwiłtracyjna

Uszczelnienie składowiska to podstawowy element konstrukcyjny, który w największym stopniu warunkuje oddziaływanie obiektu na środowisko wodno-gruntowe. Sposób wyboru i wykonania uszczelnienia zależy przede wszystkim od rodzaju składowiska, budowy geologicznej i hydrogeologicznej podłoża oraz od rodzaju składowanych odpadów. Na starych składowiskach odpadów komunalnych, które z powodu dawnych zaniedbań stanowią poważne zagrożenie dla środowiska, stosuje się najczęściej



RYSUNEK 4. Porównanie zawartości ogólnego węgla organicznego w wodach podziemnych w latach 2005–2009 z normą dla III klasy jakości wód (Rozporządzenie... 2008)

FIGURE 4. The comparison of total organic carbon content in groundwater in 2005–2009 with the standard of water quality by Polish Reg.



RYSUNEK 5. Porównanie zmian przewodności elektrolitycznej właściwej w wodach podziemnych w latach 2005–2009 z normą dla III klasy jakości wód (Rozporządzenie... 2008)
FIGURE 5. The comparison values of conductivity responsible for groundwater in the years of 2005–2009 with the standard of water quality by Polish Reg

systemy uszczelnień bocznych w postaci pionowych przesłon przeciwnfiltracyjnych (Brandl 1996, Koda 2005). Innym rozwiązaniem, które można zastosować na starym składowisku odpadów, jest izolacja podłoża przez wykonanie ukośnych barier izolacyjnych lub poziomej przesłony iniekcyjnej. Jednak rozwiązania tego typu nie dają pewności uzyskania odpowiednich efektów zabezpieczenia, a jednocześnie są bardzo kosztowne w realizacji (Koda 2005).

Zasadniczym zabiegiem, który zostanie wykonany na składowisku Słabomierz-Krzyżówka jest budowa uszczelnienia, zapobiegającego przedostawaniu się zanieczyszczeń do wód gruntowych. Korzystne warunki geologiczne w podłożu składowiska, występowanie naturalnej bariery geologicznej umożliwiają zastosowanie pionowej przesłony przeciwnfiltracyjnej wraz z opaskowym drenażem odcieków. Wykonanie przesłony

przeciwnfiltracyjnej, sięgającej stropu gruntów nieprzepuszczalnych, stworzy w podłożu rodzaj szczelnej „wanny”, przez co uniemożliwi rozprzestrzenianie się odcieków ze składowiska na tereny sąsiednie. Wody opadowe, infiltrujące w głąb obiektu, do czasu wykonania mineralnego przykrycia składowiska będą musiały być ujmowane drenażem od strony zachodniej i południowej oraz rowami od strony wschodniej i północnej.

Pionowa przesłona powinna zostać wykonana z zawiesziny bentonitowo-cementowej i zagłębiona nie mniej niż 1 m w grunty nieprzepuszczalne, dzięki czemu wykluczone zostanie przedostawanie się czystych wód gruntowych do podłoża oraz wydostawanie się zanieczyszczonych odcieków ze składowiska na tereny przyległe. Długość projektowa przesłony wynosi około 1440 m, obszar zamknięty wewnątrz przesłony – 11,1 ha, średnia głębokość – 7 m i grubość

– 0,5 m, powierzchnia boczna – około 10 000 m². Wymagany współczynnik filtracji materiału przesłony $k < 10^{-9}$ m·s⁻¹. Ponadto w celu zabezpieczenia przed przemarzaniem i wysychaniem przesłona powinna zostać zakończona oczepem glinowym lub z betonu hydrotechnicznego.

Bilans wodny składowiska – propozycja ujęcia i zagospodarowania odcieków

Do oszacowania ilości odcieków powstających na składowisku niezbędne jest właściwe rozpoznanie gospodarki wodnej oraz opracowanie bilansu wodnego. W tym celu należy pomierzyć parametry meteorologiczne, takie jak: wielkość opadów, temperatura, kierunek i siła wiatru, parowanie, wilgotność powietrza, dopływy wód do składowiska oraz masę deponowanych odpadów.

Rzeczywistą wielkość odcieków ze składowiska można obliczyć, wykonując pomiary w warunkach eksploatacyjnych, jeżeli rozkład uwilgotnienia odpadów będzie się układał powyżej rozkładu polowej pojemności wodnej, lub szacując z bilansu wodnego obszaru składowiska. Przy sporządzaniu bilansu przyjmuje się zazwyczaj, że na składowiskach z odpadami słabo zagęszczonymi do korpusu infiltruje 25–60% opadu, natomiast na składowiskach dobrze zagęszczonych – do 25% opadu (Koda 1999). Równanie bilansu wodnego dla korpusu składowiska można zapisać w postaci:

$$P + W + H_1 + D_p = E_t + E_w + \Delta R + S_p + H_2 + H_3 \quad (1)$$

gdzie:

P – opad,

W – woda zawarta w odpadach,

H_1 – dopływ gruntowy,

D_p – dopływ powierzchniowy,

E_t – parowanie ze skarp i korony składowiska,

E_w – parowanie z powierzchni zbiorników retencyjnych,

ΔR – efektywne zdolności retencyjne składowiska,

S_p – spływ (odpływ) powierzchniowy,

H_2 – odpływ gruntowy,

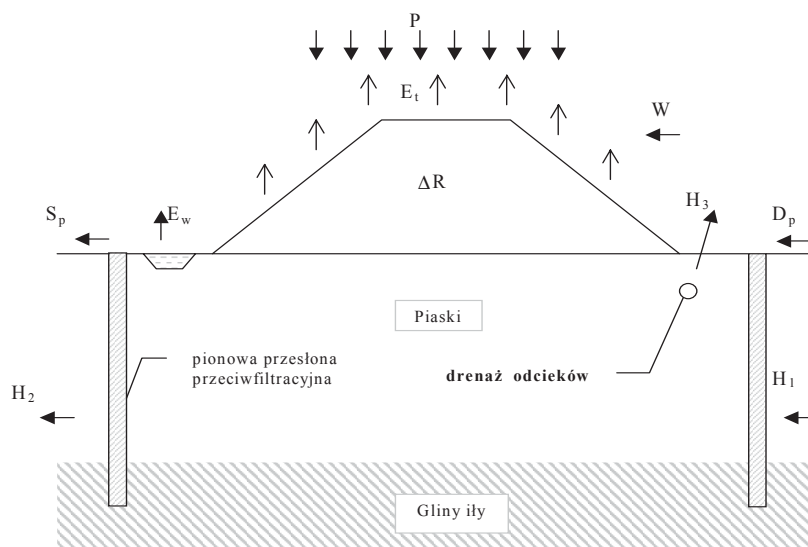
H_3 – odpływ odcieków ujmowany siecią drenarską.

W równaniu pominięto ilość wody powstającej w procesie biodegradacji odpadów (Daniel 1993). W przypadku wyizolowania składowisk pionową barierą przeciwnfiltracyjną niektóre składniki bilansu nie występują ($H_1 = 0$, $D_p = 0$, $S_p = 0$, $H_2 = 0$), wówczas równanie bilansu ma znacznie prostszą postać:

$$P + W = E_t + E_w + \Delta R + H_3 \quad (2)$$

Rysunek 6 przedstawia obieg wody na składowisku z pionową przesłoną przeciwnfiltracyjną zagłębioną poniżej stropu utworów słaboprzepuszczalnych.

Z bilansu średniego rocznego dla składowiska Słabomierz-Krzyżówka (w trakcie formowania – przed zamknięciem/przykryciem) wynika, że całkowity przychód wody ($P + W$) w skali roku wynosi około 73 016 m³, a rozchód uwzględniający parowanie i zdolności retencyjne korpusu składowiska ($E_t + E_w + \Delta R$) około 60 928 m³. Z porównania tych wartości otrzymana ilość odcieków (H_3), powstających w ciągu roku na składowisku, wynosi około 12 089 m³. Przy założeniu odizolowania składowiska od otaczającego środowiska gruntowo-wodnego (pionowa przesłona przeciwnfiltracyjna) wielkość ta równa jest ilości odcieków, które w ciągu roku przejmie



RYSUNEK 6. Schemat obiegu wody na składowisku z pionową przesłoną przeciwyfiltracyjną
 FIGURE 6. The water balance scheme of the sanitary landfill with the vertical bentonite barrier

sieć drenarska oraz rowy retencyjno-odparowalne. Jest to również ilość odcieków, które trzeba będzie wywozić podczas prowadzenia prac rekultywacyjnych na składowisku.

Na składowisku niezbędne jest zaprojektowanie sieci drenarskiej ze wszystkimi elementami i podłączenie w taki sposób, by umożliwiła efektywne gromadzenie i przetwarzanie wód odpadowych. Dla obiektu Słabomierz-Krzyżówka proponowane są różne warianty, które umożliwią rozwiązanie aspektu zanieczyszczonych wód. Ujęcie zanieczyszczeń w postaci wód odciekowych może zostać zrealizowane przez wykonanie systemu ujmowania w postaci rowów i drenażu oraz sztucznych zbiorników umiejscowionych w północno-zachodnim i południowo-zachodnim narożu składowiska. Część elementów

sieci ujmowania zostanie wykonana wewnątrz terenu odizolowanego pionową przesłoną przeciwyfiltracyjną, dlatego też nie występuje konieczność budowy oddzielnego systemu gromadzenia wód odciekowych i odpadowych. W celu ujęcia wód odciekowych ze składowiska w jego południowej, wschodniej i północnej części powinien zostać wykonany system drenażu, z odpowiednimi spadkami w kierunku zbiorników retencyjnych. Zbiorniki retencyjne powinny być zlokalizowane w zachodniej części rowów retencyjno-odparowalnych i pełnić będą rolę odbiorników wody, pochodzącej ze spływu powierzchniowego, zwłaszcza podczas ulewnych deszczy. Zbiorniki te posłużą jako retencyjne punkty odparowalne, do których zostanie wprowadzona roślinność bagienna w celu zwiększonego parowania wód odciekowych i opadowych.

Ukształtowanie i uszczelnienie bryły składowiska

Ukształtowanie bryły składowiska powinno spełniać wymogi rekultywacji technicznej poprzez zapewnienie stabilności gruntu na skarpach i złożach odpadów, uformowanie nadziemnej części bryły składowiska, zbudowanie drogi ruchu kołowego i pieszego, zbudowanie systemu odprowadzania nadmiaru wód opadowych, ukształtowanie i zabezpieczenie warstwy glebotwórczej przed działaniem złoża odpadów, zabezpieczenie obiektu przed zagrożeniem dla ludzi i sprzętu technicznego.

Uporządkowanie i ukształtowanie bryły składowiska to prace, które mają największy udział w całkowitym koszcie rekultywacji, jednocześnie prawidłowo wykonane wpływają w bardzo dużym stopniu na ograniczenie szkodliwego oddziaływania obiektu na środowisko (Oleszkiewicz 1999).

Docelowe ukształtowanie bryły składowiska opiera się na dwóch założeniach:

- zachowaniu maksymalnej rzędnej składowania, wynoszącej 170 m n.p.m., określonej w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego dla terenu składowiska,
- wykorzystaniu do składowania odpadów terenu obecnie zajętego, z niewielkimi przesunięciami podstawy skarp w granicach obszaru otoczonego pionową przesłoną przeciwnfiltracyjną.

Zalecane jest, aby skarpy składowisk miały nachylenie 1 : 3 lub 1 : 2,5, dzięki czemu zapewniona będzie ogólna stateczność bryły, a jednocześnie stworzy to możliwość odpowiedniego ułożenia warstw przykrycia powierzchni i uła-

twi wprowadzanie roślinności. W celu wykorzystania maksymalnej chłonności składowiska, przy zachowaniu obecnej powierzchni i rzędnej składowania odpadów, skarpy obiektu Słabomierz-Krzyżówka będą ukształtowane w dolnej części ze spadkiem 1 : 2,5 do poziomu półki technologicznej na rzędnej 165 m n.p.m., szerokości półki 6 m, natomiast powyżej półki z nachyleniem 1 : 3 do poziomu 170 m n.p.m.

Na wprost zespołu wjazdowego na składowisko zostanie wykonana utwardzona droga wjazdowa na koronę składowiska, szerokości 6 m i spadku podłużnym drogi 8%. Do celów kształtowania bryły przewiduje się również drogę nieutwardzoną – z korony składowiska, poprzez zachodnią skarpe składowiska, w rejon zbiornika odparowalno-retencyjnego w północno-zachodnim narożu obiektu. Po docelowym ukształtowaniu bryły składowiska powierzchnia korony wyniesie 4,2 ha, natomiast łączna kubatura zdeponowanych odpadów około 1 044 000 m³. Z obliczeń wynika, że na składowisku dotychczas zostało zdeponowanych około 790 000 m³ odpadów. Z porównania obecnej i projektowanej kubatury składowiska wynika, że do osiągnięcia projektowanego ukształtowania bryły potrzeba około 250 000 m³, co przy złożeniu gęstości odpadów równej 1,3 Mg·m⁻³ daje masę 325 000 Mg.

Sukcesywnie w trakcie osiągnięcia docelowej powierzchni półek i skarp oraz na koronie składowiska po ukształtowaniu wykonany zostanie system przykrycia warstwą izolacyjną. Podstawowym zadaniem przykrycia jest ograniczenie infiltracji wód opadowych i roztopowych w korpus składowiska (Jessberger i in. 1993), co ograniczy ilość odcieków,

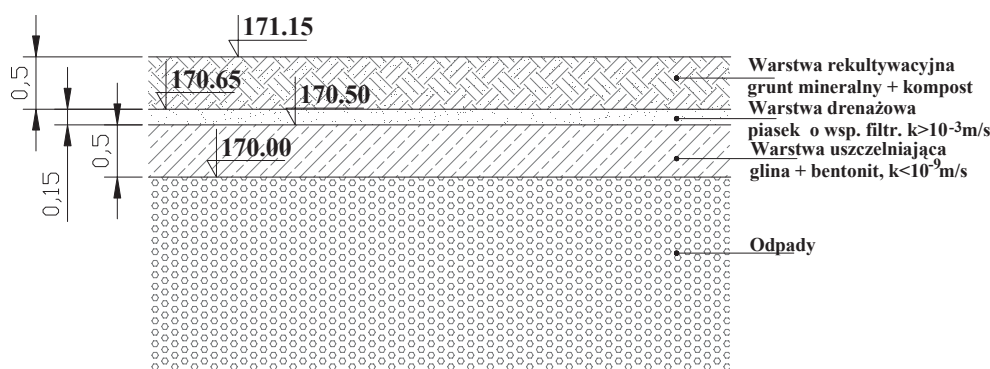
powstających w fazie poeksploatacyjnej. Uszczelnienie powierzchni składowiska stanowi także zabezpieczenie przed wydostawaniem się poza jego obręb gazów, pochodzących z procesów fermentacyjnych, zachodzących w złożu odpadów. Warstwa uszczelniająca musi być wykonana z materiału mineralnego o odpowiednich właściwościach lub z dodatkiem środka poprawiającego jej właściwości izolacyjne. Materiał izolujący musi mieć odpowiednią szczelność i odporność na ewentualne przebicia i rozerwania, dużą odporność na działanie związków chemicznych w odpowiednio długim okresie, odporność na wysoką i niską temperaturę oraz wynikające z nich odkształcenia, niewrażliwość na nierównomierne osiadanie i dużą elastyczność, dobre i równomierne przyleganie do sąsiadujących warstw oraz dużą przyczepność do podłoża, szczególnie na skarpach.

Według wytycznych Instytutu Techniki Budowlanej (Instrukcja 337, 1995), na uszczelnienia mineralne mogą być wykorzystane grunty wykazujące następujące właściwości fizyczne:

- zawartość cząstek ilastych nie mniejsza niż 20% wagowo,
- brak frakcji grubszych (głazów, ziaren żwirowych) 60% materiału powinno być drobniejsze od frakcji piaskowej,
- wskaźnik plastyczności 20%,
- granica płynności 30%,
- zawartość węgla wapnia do 10%,
- zawartość substancji organicznej do 2%.

Na składowisku Słabomierz-Krzyżówka zaproponowano system przykrycia powierzchni, który składa się z następujących warstw, o różnej strukturze i przeznaczeniu: uszczelniającej (gлина z bentonitem), drenażowej (piasek), glebotwórczej (humusowa) – rysunek 7.

Na składowisku zastosowana zostanie 0,5-metrowa warstwa gliny z 10-procentową (wagowo) domieszką bentonitu. Następne warstwy składać się będą z części drenażowej oraz z warstwy glebotwórczej. Proponowane jest wykonanie warstwy filtracyjnej o niewielkiej grubości – około 0,15 m, z piasku średniego, bez drenażu rurowego. Warstwa ta zapewni zarówno odprowadzenie nad-



RYSUNEK 7. Schemat proponowanego mineralnego przykrycia powierzchni składowiska
 FIGURE 7. The scheme of proposed mineral surface covering of the analyzed landfill

miaru wód opadowych i roztopowych, jak i umożliwi parowanie wody w warstwie przykorzeniowej. Zewnętrzną warstwę systemu przykrycia stanowić będzie grunt mineralny zmieszany z kompostem lub humusem, który wytworzy właściwą warstwę glebotwórczą, zabezpieczając obszar składowiska przed procesami erozyjnymi, oraz stworzy podkład pod roślinność trawiastą i motylkowatą. Miąższość wierzchniej warstwy ziemnej zależy od rodzaju przeznaczenia terenu, powinna umożliwiać powstanie i utrzymanie trwałej pokrywy roślinnej, w tym przypadku powinna wynosić minimum 0,5 m.

Propozycja kontroli jakości i wpływu obiektu na wody podziemne

Składowisko odpadów komunalnych, nawet dobrze zabezpieczone, w okresie eksploatacji i jeszcze wiele lat po jej zakończeniu stanowi potencjalne źródło zanieczyszczeń. Zgodnie z wytycznymi rozporządzenia... (2002), wymagane jest prowadzenie monitoringu przez okres 30 lat po zakończeniu eksploatacji obiektu. Dla każdego miejsca deponowania odpadów powinna zostać zaprojektowana odpowiednia sieć obserwacyjna, dzięki której na bieżąco będzie można kontrolować procesy zachodzące w składowisku oraz zmiany w środowisku po wykonaniu prac rekultywacyjnych.

Sieć monitoringową należy zaprojektować w taki sposób, aby tworzyła logiczny łańcuch pomiarów, które dostarczą danych na temat stanu środowiska. Pierwszym etapem prac jest doko-

nianie podziału terenu składowiska oraz jego bliskiego otoczenia na strefy, w zależności od kierunku, natężenia i czasu przepływu wód gruntowych (Zadroga i Olańczuk-Neyman 2001). Kolejny etap polega na wyznaczeniu miejsc, w których powstaną punkty poboru próbek wód. Lokalizacja piezometrów powinna być ustalona na podstawie szczegółowej analizy warunków hydrogeologicznych, czyli po uwzględnieniu warstw wodonośnych, naturalnych warstw izolacyjnych, przepuszczalności gruntów, kierunku i prędkości przepływu wód. Przypadkowa lokalizacja piezometrów może prowadzić do uzyskania fałszywych danych o stanie środowiska (Koda 2001).

W przypadku gdy składowisko zlokalizowane jest w pobliżu cieków wodnych, należy również objąć je siecią kontrolną, składającą się z kilku punktów pomiarowych wybranych na podstawie warunków hydrograficznych. Na cieku powinny być zlokalizowane minimum dwa punkty poboru, jeden powyżej i jeden poniżej składowiska. Wpływ składowiska na jakość wód w cieku jest ustalany na podstawie różnicy składników w tych dwóch punktach.

Składowisko Słabomierz-Krzyżówka zlokalizowane jest w dość trudnych warunkach hydrogeologicznych i wymaga odpowiednio zaprojektowanej sieci monitoringowej. W obrębie terenu składowania przebiega wododział między zlewniami rzek Pisi Gągoliny i Okrzeszy oraz lokalny wododział między Okrzeszą i jej niewielkim dopływem, przepływającym około 300 m na południe od granicy obiektu. Ponadto budowa nasypu CMK zakłóciła przepływ wód gruntowych, który obecnie odbywa się w trzech kierunkach: południowym,

północno-zachodnim i wschodnim (rys. 8). Wyznaczenie stref monitoringowych oraz umiejscowienie punktów badawczych zależy przede wszystkim od kierunków, czasu i natężenia przepływu wód. Współczynnik filtracji (k) dla pierwszego poziomu wodonośnego wynosi $k = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast spadek hydrauliczny tego poziomu $i = 8\%$. Obliczona przybliżona prędkość przepływu wody w warstwie wynosi $v = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Na tej podstawie wyznaczone zostały poszczególne strefy monitoringowe, licząc od krawędzi składowiska: T_I – w odległości 26 m, oraz T_{II} – w odległości 95 m (Górecka 2010).

W związku z tym, że obiekt znajduje się na wododziale dwóch rzek, trudno określić jednoznacznie, z którego kierunku odbywa się dopływ wód. Prawidłowym rozwiązaniem będzie zamontowanie piezometru od strony południowego naroża składowiska. Wody podziemne pochodzące z tego piezometru posłużą jako punkt odniesienia dla pozostałych badań prowadzonych dla wód gruntowych („tło”). Dopiero po porównaniu wartości oznaczonych wskaźników w warstwie wodonośnej przed i po jej kontakcie z odciekami można będzie rzetelnie ocenić sposób oddziaływania obiektu na środowisko. Lokalizacja kolejnych punktów pomiarowych powinna nawiązywać do projektowanej przesłony przeciwfiltracyjnej. Od strony zachodniej, w rejonie istniejącego piezometru P3, należy dodatkowo wykonać dwa otwory badawcze – jeden usytuowany przed przesłoną, natomiast drugi kilka metrów za nią. Dzięki takiemu rozmieszczeniu można uzyskać informacje na temat szczelności bariery. Proponowane rozmieszczenie piezometrów

pokazano na rysunku 8, uwzględniając układ warstw wodonośnych i izolacyjnych, przepuszczalność gruntów, kierunki i prędkości przepływu wód oraz fakt budowy przesłony przeciwfiltracyjnej.

Do badania wód użytkowych drugiego poziomu wodonośnego nadal posłuży studnia S1. Skład odcieków będzie badany w projektowanych zbiornikach retencyjno-odparowalnych. Ponadto w celu uzyskania wszystkich danych na temat emitowanych zanieczyszczeń przez składowisko proponowane jest poszerzenie zakresu badanych parametrów wód powierzchniowych i podziemnych. Według Rozporządzenia... (2002), w zależności od rodzaju zagrożeń na terenie składowiska odpadów komunalnych można wprowadzać badania dodatkowych wskaźników, takich jak:

- sumaryczne: barwa, mętność, zawiesiny ogólne, pH, PEW, BZT₅, ChZT_{Cr},
- charakterystyczne: azot amonowy i azotanowy, siarczany, chlorki, fosfor, metale ciężkie,
- szczególne: WWA, detergenty.

Dla wód podziemnych w rejonie obiektu Słabomierz-Krzyżówka należy prowadzić dodatkowe badania wskaźników: chlorków, siarczanów, azotanów oraz ChZT_{Cr} i BZT₅. Są to wskaźniki, które znacząco oddziałują na skład wód podziemnych, obniżając ich jakość, i świadczą o potencjalnej nieszczelności zastosowanych uszczelnień. Ponadto związki te nie podlegają przemianom w glebie i w wodach. Jednym z mechanizmów prowadzących do ich eliminacji jest rozcieńczanie, proces, w trakcie którego zmniejszeniu ulega jedynie ich stężenie. Pomiar tych wskaźników będą szczególnie przydatne w pierwszych



Legenda:

- ↑ Kierunek przepływu wód gruntowych/ Direction of groundwater flow
- Projektowana przesłona przeciwiłtracyjna/ Proposed vertical bentonite barrier
- ⊗ P1 Projektowany piezometr/ Proposed piezometer
- S1 Studnia ujęciowa/ Well
- ⊗ P1 Istniejący piezometr/ Current piezometer
- - Rzeka Okrzeża/ River Okrzeża

RYSUNEK 8. Proponowany system monitoringu wód na składowisku Słabomierz-Krzyżówka
 FIGURE 8. Proposition of the groundwater monitoring system on the analyzed landfill

okresach po wykonaniu zabiegów rekultywacyjnych, prowadzone przez okres kilku miesięcy dadzą obraz efektów, jakie uzyskano, stosując zabiegi naprawcze na składowisku.

Podsumowanie i wnioski

Gospodarka odpadami w Polsce jest dużo słabiej rozwinięta niż w wielu państwach europejskich. Większość odpadów komunalnych nadal unieszkodliwiana jest na składowiskach, których konstrukcja i eksploatacja często nie spełnia wymogów ochrony środowiska. Dopiero od czasu wstąpienia Polski do Unii Europejskiej zmienił się zakres i intensywność prowadzonych działań prawnych i technicznych, mających na celu poprawę stanu gospodarki odpadowej.

Obecnie Polska gospodarka odpadów skupia się na realizacji wytycznych KPGO 2010, według których do 2014 roku powinno pozostać jedynie 200 dużych, prawidłowo urządzonych składowisk odpadów komunalnych. Obecnie na wielu składowiskach prowadzone są działania modernizacyjne bądź rekultywacyjne, ograniczające negatywne oddziaływanie tych obiektów na środowisko naturalne oraz przystosowujące je do dalszego funkcjonowania, z których najważniejsze dotyczą ujęcia i unieszkodliwienia odcieków oraz szczelnych izolacji od wpływów na środowisko wodno-gruntowe.

Jednocześnie ważnym elementem działań rekultywacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych jest wdrożenie odpowiedniego systemu monitoringu środowiska gruntowo-wodnego, który pozwala na stałą kontrolę wpływu

obiektu na środowisko naturalne. Dobrze zaprojektowana sieć obserwacyjna, z odpowiednim systemem pomiarów i badań, umożliwi szybką reakcję na zachodzące zmiany w parametrach wskaźnikowych stanu środowiska.

Literatura

- BRANDL H. 1996: Slurry barrier walls for waste containment and contaminated land. Proc. of the 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka: 459–466.
- DANIEL D.E. i in., 1993: Geotechnical practice for waste disposal. Chapman and Hall, London.
- GÓRECKA A. 2010: Wpływ regionalnego składowiska odpadów komunalnych na środowisko z uwzględnieniem zabiegów modernizacyjnych i rekultywacyjnych. Praca magisterska. Międzywydziałowe Studium Ochrony Środowiska SGGW, Warszawa.
- Infrastruktura komunalna w 2008 roku, 2009. Główny Urząd Statystyczny (http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbr/gus/PUBL_WZ_Infrastruktura_komunalna_200.pdf).
- Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych, 1995. Instrukcja 337. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- JESSBERGER H.J. i in. 1993: Geotechnics of Landfill Design and Remedial Works. Technical Recommendations. Ernst & Sohn, Berlin.
- KODA E. 1998: Stability conditions improvement of the old sanitary landfills. Proc. of the 3rd International Congress on Environmental Geotechnics, Lizbona: 223–228.
- KODA E. 1999. Remediation of the old embankment sanitary landfills. Geoenvironmental Engineering: Ground Contamination. Thomas Telford ed., London: 29–38.
- KODA E. 2001: Monitoring lokalny wód w rejonie starych wysypisk odpadów komunalnych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych* 476: 415–423.
- KODA E. 2005. Rekultywacja składowisk. XV Międzynarodowa Konferencja Szkoleniowa „Budowa i eksploatacja bezpiecznych skła-

- dowisk odpadów. Modernizacja i rekultywacja składowisk”. Słubice – Poznań: 63–82.
- KODA E. 2009: Geośrodowiskowe aspekty rekultywacji składowisk komunalnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika* 3: 134–151.
- MICHAŁKIEWICZ M. 2009: Składowiska odpadów jako źródła skażenia mikrobiologicznego. Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów. Wydawnictwo Abrys, Gdynia.
- OLESZKIEWICZ J. 1999: Eksploatacja składowiska odpadów. Wydawnictwo Lem Projekt, Kraków.
- PIOTROWSKA H., KWIATKOWSKI-BLUMH J., LITWIN B. 1993: Zbiór zaleceń do programowania, projektowania i eksploatacji wysypisk odpadów komunalnych. MGPiB. Wydawnictwo OBREM, Łódź.
- Poradnik 2000. Metody badania i rozpoznawania wpływu na środowisko wodno-gruntowe składowisk odpadów stałych. Oficyna Wydawnicza „El-Press”, Lublin.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2002 roku w sprawie zakresu, czasu, sposobu oraz warunków prowadzenia monitoringu składowisk odpadów (DzU nr 220, poz. 1858).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 lipca 2008 roku w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu wód podziemnych (DzU nr 143, poz. 896).
- Stare składowiska, 1997. Tom I. Rozpoznanie i ocena. Wydawnictwo AR we Wrocławiu.
- TEREK K. 2009. Polski odpadowy teatr. *Przegląd Komunalny* 12 (219): 52–58.
- ZADROGA B., OLAŃCZUK-NEYMAN K. 2001: Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Aspekty geotechniczno-budowlane. Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.

Summary

Analysis of possibilities to reduce the risks of groundwater pollution resulting from operating of the modernized sanitary landfill. The paper presents the analysis of the remedial works which should be urgently taken to reduce the negative environmental impacts of the sanitary landfill and to allow to continue its further operation. The remedial works on the old landfill consist of technical and biological solutions aimed mainly at eliminating of groundwater degradation process and protection of surroundings against pollution. The proposed solutions, related to environment protection will enable to continue operation of the landfill for the next few years. The paper also presents the verification of the scope of the local monitoring to control of the water quality on surroundings as well as for effectiveness assessment of remedial works.

Author's address:

Eugeniusz Koda
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: eugeniusz_koda@sggw.pl